

Produktentwicklung

Anforderungsliste:

- funktionell
- geometrisch
- technologisch
- wirtschaftlich
- gesetzlich

Gantt-Diagramm

- grafische Darstellung von zeitlichen / inhaltl. Abläufen

Entwurfprozess VDI 2221

- Aufgabenpräzisierung (Produktidee als Aufgabenstellung)
- Konzeptphase (Funktionen werden Lsg. aufgestellt)
- Entwurfsphase (Gestaltung)
- Ausarbeitungsphase (Einzelteile)

Gestaltung

Funktionsgerecht

- möglichst einfach, kein unnötiger Werkstoff
- Aufwand / Bearbeitung

Festigkeitsgerecht

- günstiger Werkstoff / Kraftfluss, wenig Kerbwirkung

Fertigungsgerecht

- einfach, vereinfacht, kein Spezialwerkzeug, einfache Demontage

Praktisches Vorgehen beim Konstruieren

Planen, Rechnen → 1. Entwurf mit einfachen Formen → Prüfen auf Validieren → Beanspruchung überdenken → gefährdete Querschnitte nachrechnen → Entwurf mit Faltlinien überprüfen und Zeichnung erstellen

Kerbwirkung

- Spannungen in Nähe geom. Unstetigkeiten konzentrieren und verstärken sich
- Folgen: Risse, kleine Dauerfestigkeit, Bruchgefahr
- Verhindern: geom. Gestaltung: sanfte Kanten, gleichm. Gestaltung

Uform-Prozesse

- Gießen, Gusstückbearbeitung, 3D-Druck-Processing, Blasformen, Extrudieren

Lastgerecht: gleichm. Verteilung der Kraftlinien, Rippen, Spannungen auf große Querschnittsflächen
Oberflächentechnik: sauber, Rillen, Polieren

Metallguss

- Sandguss: Form aus Sand, Kern einsetzen, Metall in Hohlform gießen
- Druckguss: Metall bei hoher Temp. unter hohem Druck in wiederverwendbare Stahlform pressen
- Feinguss, Kokillenguss, Strangguss

Spritzgießen

- Werkzeug geschlossen → Einspritzen → Nachdruckphase → Restkühlzeit → Werkzeug offen → Formteil auswerfen

Kleinste erzielbare Wandstärke

- Fließvermögen, Maßgenauigkeit der Form, Schumpverhalten

Unregelmäßiger Erstarrungsprozess

- Folgen: Lunker, Eigenspannung, Binderähle

FDM-Druck

- Konstruktionsgrundsätze: Schichtausrichtung, Bauteilverzug, Stützstrukturbedarf

additive Fertigung

- Polymerbasiert: FDM-Druck, Stereolithographie
- Pulverbasiert: selektives Laser, Inkjet-Verfahren

Stereolithographie

- Datenaufbereitung → Tank mit flüssigen Photopolymer → Bauteil auf Plattform → UV-Laser bestrahlt Harz schichtweise → Bauplattform bewegt sich abwärts → Entfernen von Stützstrukturen

Uform-Prozesse

- Walzen, Durchziehen, Prägen

Abrasive-Wasserschneiden

- Schneidemittel beigemischt
- Reinwasserschneiden: gefiltertes Wasser unter 9,1 mm

Laserschneiden

- gebündelter Laserstrahl mit Gas / Kristallen erzeugt → Schneiden → moduliert mit Linsen / Spiegeln

Extrudieren

- Kolbenextrusion: Pulver in Zylinder → mit Kolben verdichten → zerschneiden → Extrudieren
- Schneckenextrusion: durch Trichter in Zylinder → zerschneiden → durch rotierende Schnecke zur Draht

Blasformen

- Herstellung von Hohlkörpern aus Thermoplast. Kunststoffen, durch Innendruck wird Vorformling an Konturen gedrückt

Statik

Kraft

- gerichtete physikalische Größe durch Vektoren dargestellt
- Betrag, Richtung, Angriffspunkt
- innere: zwischen Teile eines Systems
- äußere: von außen auf System

Lagerart

- Loslager: 1-wertig, sperrt 1 Freiheitsgrad
- Festlager: 2-wertig
- Feste Einspannungen: 3-wertig

Spannungen

- Satz von Steiner
- $I_y' = I_y + z_s^2 \cdot A$
- ist Flächenträgheitsmoment einer Fläche um eine Achse, die nicht durch SP verläuft

Lackleitung

- zwischen Niet/Bohrloch & Zapfen/Bohrung
- gleichm. Verteilung: Übergangs-/Presspassung
- ungleichm. Verteilung: Spielpassung

Dichtungen

	dynam.	berührunglos	statisch
Labyrinthdichtung		X	
Flachdichtung			X
Kolbenringdichtung	X		
Dichtungsring	X		

Grundlagen Gestaltung

- eindeutig, einfach, sicher
- von innen nach außen, mit aktiven Teilen anfangen, bei tragenden/umhüllenden Teilen enden
- Normzahlen R5 $\sqrt[5]{10} \approx 1,6 \rightarrow 1,6 \cdot \frac{1}{2,5}$

Kräfte-GG

- $\sum F = 0$
- keine resultierende Beschleunigung

stat. Bestimmtheit

- Anzahl Unbekannter = Anzahl GG-Bedingungen
- $F = 3n - (a + z)$

Grundbelastungsfälle

- Zug, Druck, Biegung, Schub, Torsion

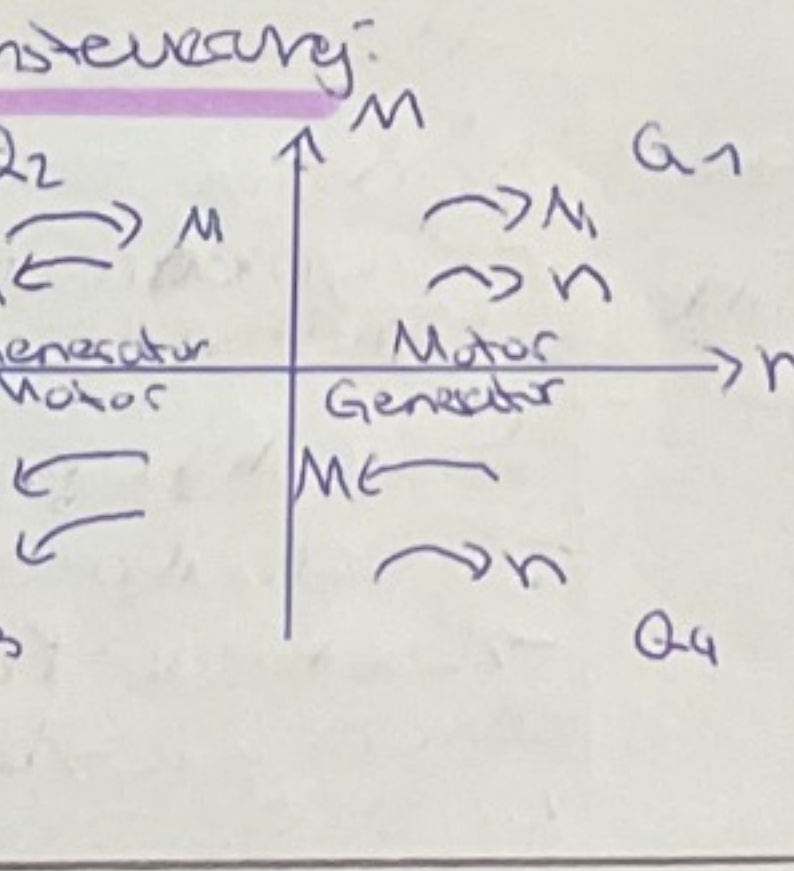
gleichartige Spannungen

- gesamte Beanspruchung in selbe Richtung wirkt
- wird addiert

Getriebe

- $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\omega_{ab}}{\omega_{ab}}$ i ges. i 1,2
- Drehrichtung wird von jedem Zwischenrad umgedreht
- x offene Riemen: gleich
- x gekreuzter: entgegengesetzt

Antriebstechnik



Reaktionsgesetz

- Lagerkraft wirkt nur in gesperren Freiheitsgraden
- von Lagerart abhängig
- Bewegungen in freie Richtungen möglich

Reibungsarten

- Haft: Reibung, die überwunden werden muss um in Bewegung zu kommen
- Gleit: während Bewegung
- Roll: Reibung bei Rollen

Flächenträgheitsmomente

- 0. Ordnung: Querschnittsfläche
- 1. Ordnung: stat. Flächemoment
- 2. Ordnung: Flächenträgheitsmoment

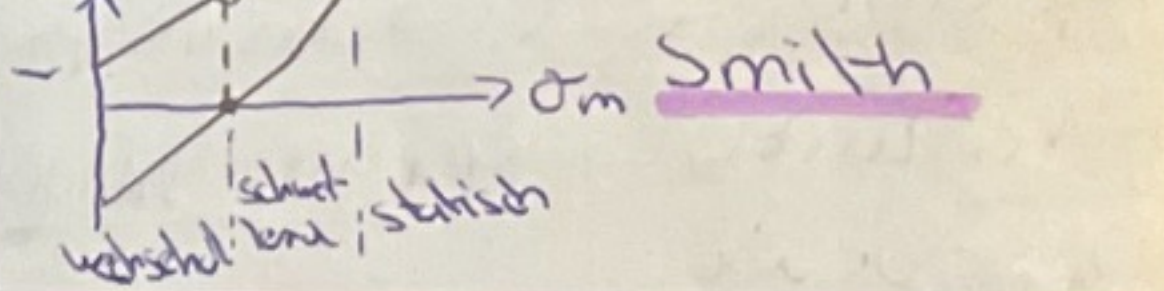
Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith

siehe Mathek / Rotoff S. 56

Spannungen

- Fall 1: $F_k = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$
- Fall 2: $F_k = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$
- Fall 3: $F_k = 2\pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$
- Fall 4: $F_k = 4\pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$

Wöhlerkurve



Smith

Konstruktionsarten

- Neukonstruktion
- Anpassungskonstr.: bekannte Lösungsprinzipien $\rightarrow$ Anpassung an veränderte Randbedingung
- Variantenkonstr.: Neuordnung von Teilen

Maschinenelemente

- gliedert nach:
- Funktion
 - Wirkprinzip
 - Gestaltung

Achsen und Wellen

- Übertragen Kräfte
- Übertragen Kräfte und Drehmomente
- Umlaufende Achse: Element fest mit Achse
- feststehend: Element dreht sich lose auf Achse

Thermodynamik

Ideale Gase

- Theoret.: Moleküle sind punktförmig, keine Wechselwirkungen

Reale Gase

- Molekülvolumen, Wechselwirkungen

Hauptsätze

- 0.: 2 Systeme, die Energie austauschen, streben thermodyn. GG an. (T)
- 1.: Energie kann nur umgewandelt werden
- 2.: Entropie beschreibt Richtung von Energieumwandlung; natürl. Prozesse sind irreversibel; ΔS (S)
- 3.: unmöglich auf abs. Nullpunkt $= 0K = -273,15^\circ C$ zu kühlen

Umwandlung von Bewegungsformen

Grundlagen

- $W = F \cdot \Delta s$
- $P = \frac{W}{\Delta t}$
- Linearbewegung: Kraft entlang Strecke
- Rotationsbewegung: Drehbewegung
- P ist const.: $P = F \cdot v = 2\pi n \cdot M$

Ungleichförmig übersetz. Getriebe

- Kurvengetriebe: rotierende Kurvenröhre erzeugt ungleichmäß. Abtriebsbewegung
- Koppelgetriebe: mehrere verbundene Glieder; Rotation in Schwingbewegung

Zahnradgetriebe

- formschlüssig: Zahnräder greifen ineinander
- ⊕ Schlupffrei, konstante Übersetzung, kompakte Bauweise, hohe Wirkungsgrade
- ⊖ Schwingungen bei hohen Drehzahlen; Schmierung notwendig; Geräuschentwicklung
- Evolventenverzahnung: einfach herzustellen; häufig verwendet
- Zykloidenverzahnung: geringe Reibungsverluste; kleine Zahnzahlen; aufwendiger, empfindlich

DC-Motor: bei Spielzeugen

- Aufbau: Stator (Permanentmagnet), Rotor (Elektromagnet mit Stromquelle verbunden), Kommutator (Sorgt für Umpolung für kontinuierliche Drehbewegung)

Systeme

- offen: Energie-, Stoffaustausch (Teetasse)
- geschlossen: nur Energieaustausch (Gasflasche) $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$
- isoliert: nichts (Thermoskanne) $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$

Kreisprozess

- rechtsläufig: Arbeit wird gewonnen (Verbrennungsmotoren)
- linksläufig: Arbeit wird aufgewendet (Wärmepumpen)
- offen: Arbeitsmedium wird ausgetauscht (Verbrenner)
- geschlossen: Arbeitsmedium im System (Wärmepumpe)

Carnot-Wirkungsgrad

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}; \text{Praktisch nie erreichbar}$$

Umwandlung

- Rotation $\rightarrow$ Rotation: Zahngetriebe
- Rotation $\rightarrow$ Linear: Spindelgetriebe, Nockenwelle
- Linear $\rightarrow$ Linear: hydraulische Systeme
- Linear $\rightarrow$ Rotation: Kurbeltrieb
- ungleichförmig übersetz. Getriebe: Koppelgetriebe, Kurvengetriebe
- gleichförmig übersetz. Getriebe: Zahnradgetriebe, Walzgetriebe

Gleichförmig übersetz. Getriebe

- formschlüssig: Zahnrad, Kegeltad, Schneckengetriebe
- reibschlüssig: Reibradgetriebe
- Zugmittelgetriebe: Kettengetriebe, Zahnriemen $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$
- Übersetzungsverhältnis $i: i = \frac{\omega_{\text{an}}}{\omega_{\text{ab}}} < 1$ ins Schnelle $i > 1$ ins Langsame $i_{\text{ges}} = i_1 \cdot \dots \cdot i_n$

Antriebstechnik

elektr. Maschinen

- Gleichstrommaschine: Bürsten (DC); Bürstenlos (BLDC)
- Wechselstrom: Synchronmaschine, Asynchronmaschine
- Universalmotoren: Einphasen-Reihenschlussmotor
- Schrittmotoren

Elektromagn. Induktion

- Faraday'sches Gesetz: Änderung des magn. Flusses durch eine Spule induziert eine Spannung: $U_{\text{ind}} = -N \frac{d\Phi}{dt}$

⊕ einfache Ansteuerung; Preisgünstig

⊖ Bürstenfeuer; begrenzte Lebensdauer; Reibung

$$n_0 = k_N \cdot U \quad - M_H \quad - k_N \cdot k_M = 1$$

(Leerlaufdrehzahl) Antriebsmoment Motor konstanten

- Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie:
linear ↓ mit Drehmoment ↑
- Reihenschlussmotor: Anker- und Erregerentwicklung in Reihe, hohe Anfahrmomente; Drehzahl sinkt bei ~~starker~~ Belastung
- Nebenschlussmotor: Wicklungen parallel, stabilere Drehzahl bei Laständerung

BLDC-Motor: Knochenmotor

- Aufbau: Rotor (Permanentmagnet), Stator (mehrere Spulen, elektr. kommutiert); Kommutierung (elektr., abhängig von Rotarlage)
- ⊕ kein Verschleiß; besser regelbar; leise; höherer Wirkungsgrad
- ⊖ teuer

Drehstrommaschinen

- Drehstrom: 3 Phasen um 120° versetzt, sinus; verlustarmer Energie-transport
- Schaltungen: Stern- und Dreieckschaltung, Stern-Dreieck-Anlauf zur Reduktion von Anlaufströmen
- Synchronmaschine: meist als Generator
- Asynchronmaschine: meist als Motor

Asynchronmotor

- Stator: 3 Wicklungsstränge, erzeugen rot. Magn.-feld
- Rotor: kurzgeschlossene Leiter, in denen U/I induziert
- Schlupf: Rotorgeschwindigkeit

Fluiddynamik

- Fluide: Teilchen verschiebbar durch Schub/Druck (in/kompressibel); verformen sich unbegrenzt
- Festkörper: bei Schub $\rightarrow$ elastische, reversible Dehnung

Hydrostatik

- Druck: $p = p_0 + \rho g h$
- Druck am Boden eines Gefäß hängt nur von Höhe der Flüssigkeitssäule ab
- Statischer Auftrieb: $F_A = \rho_f g \cdot V_k$
- Oberflächenspannung: $\sigma = \frac{F}{L} = \frac{\Delta W_o}{\Delta A}$
- Kohäsion: Bindung zwischen gleichen Molekülen
- Adhäsion: Bindung zwischen unterschiedl. Molekülen
- Kontaktwinkel: Maß für Benetzbarkeit
- Kapillareffekt: Flüssigkeit steigen in engen Röhren gegen Schwerkraft auf $h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{\rho g r}$

Viskosität

- dyn.: η : Maß für innere Reibung
- kin.: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$
- Newt. Fluid Reibungsgesetz: $\tau = \eta \frac{du}{dy}$

Arten von Fluiden

- Bingham: Fließen erst ab Grenzscherbannung (Zahnpasta)
- Pseudoplastische: Viskosität nimmt mit Schergeschw. ab (Honig)
- Newtonsche: Lineares Verhalten (Wasser)
- Dilatante: Viskosität nimmt mit Schergeschw. zu (feuchtes Sand)

Hydrodynamik

- Umströmung / Durchströmung
- Laminare / Turbulente Strömung
 $Re < 2300$ / $Re > 2300$
- Stationär / Instationär
- Kompressibel / Inkompressibel
- Reibungsbehaftet / Reibungsfrei

- Reynoldszahl: $Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{u \cdot d}{\nu}$
→ Verhältnis Längs-/Querschn. eines Teilch.
- Hagen-Poiseuille-Gesetz: $\dot{V} = \frac{\pi r^4 \cdot \Delta p}{8 \mu \cdot \Delta x} = \frac{\pi r^4}{8 \mu} \cdot \frac{\Delta p}{L}$
→ Volumenstrom einer laminaren, stationären Strömung
- Druckverlust laminaren Rohrströmung: $\Delta p = \frac{128 \mu L}{\pi d^4} \cdot \dot{V}$